

ИССЛЕДОВАНИЕ КАРБИДОВ В СТАЛИ К60 ДЛЯ ТРУБ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

А.Н. Завалицин¹, Е.В. Кожеевникова^{1,2}

Руководитель – профессор, д.т.н. А.Н. Завалицин

МГТУ им. Г.И. Носова¹, ООО «ИТЦ Аусферр»² г. Магнитогорск,
ausferr_elena@bk.ru; zaval1313@mail.ru

Наличие добавок микролегирующих элементов является важной характеристикой низкоуглеродистых сталей, используемых для производства газопроводных труб большого диаметра. Наиболее важными элементами являются ниобий, ванадий и титан. Выделяют следующие основные причины введения этих микролегирующих элементов в состав малоуглеродистых сталей:

- частицы карбидов препятствуют росту аустенитного зерна при нагреве под прокатку;
- растворенные микролегирующие элементы, а также выделения карбидов сдерживают рекристаллизационные процессы в аустените;
- добавки Nb, V и Ti влияют на характер распада аустенита в результате смещения критических точек фазового перехода $\gamma \rightarrow \alpha$;
- выделившиеся карбиды повышают механические свойства готовой продукции вследствие дисперсионного упрочнения;
- наличие карбидных выделений увеличивает количество центров зарождения феррита при распаде аустенита, т.е. способствуют измельчению конечной структуры за счет гетерогенного зарождения $\gamma \rightarrow \alpha$ на карбидах.

Во время контролируемой прокатки микролегированных сталей мелкие карбиды могут выделяться при черновой прокатки в аустенитной области, на границе фронта $\gamma - \alpha$ - превращения в межкуритическом интервале (т.н. межфазное выделение) или из пересыщенного феррита в процессе окончательного охлаждения после чистовой прокатки.

В данной работе были установлены и исследованы карбиды специальных микролегирующих элементов в структуре трубной марки стали К60 (Х70) с целью дальнейшего лучшего понимания кинетики выделения и распределения частиц в процессе контролируемой прокатки.

Материал и методика исследования

Исследуемая сталь К60 имеет следующий плавочный химический состав: 0,09 % углерода; 1,65 % Mn; 0,23 % Si; 0,044 % Al; 0,003 % S; 0,009 % P; 0,007 % N; 0,048 % V; 0,049 % Nb; 0,017 % Ti, кроме того, в стали присутствуют микродобавки Mo, Cr, Ni, Cu.

Выявление карбидов проводилось путем растворения металла электролитическим методом. Данная методика выбрана на основе анализа ряда литературных данных, в том числе работ [1, 2], которые были

наиболее оптимальными, и скорректирована в соответствии с исследуемой сталью.

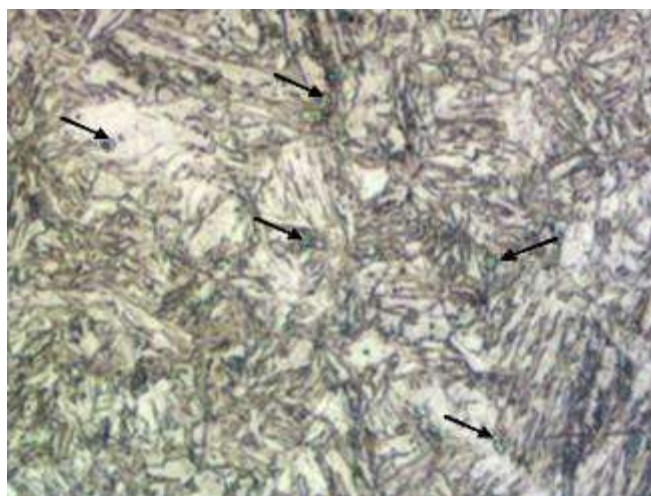
Пробы прямоугольной формы размером $5 \times 10 \times 100$ мм изготавливались из штрипса стали К60. Данные образцы (8 шт) предварительно подвергали закалке в воде с 1100°C , с выдержкой 1 час с целью максимального перевода карбидов ванадия, ниобия и титана в твердый раствор.

Основная сущность электролитического метода состоит в том, что образец стали, являющийся анодом и заключенный в мешочек из кальки, подвергается растворению при помощи электролиза в электролите следующего состава: 3 %-ный раствор сернокислого закисного железа ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) + 1 % хлористого натрия (NaCl) + 1 % сегнетовой соли ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6$). При этом ионы металла (в числе других ионов и молекул) проходят сквозь поры мешочка, и, разряжаясь, отлагаются на катоде, а карбиды вместе с неметаллическими включениями остаются в мешочке. Электролиз проводился при плотности тока $0,01 \dots 0,02 \text{ А/см}^2$ (не выше 1 А на образец) в течение 65...67 часов. Количество растворенного металла определялось разностью между первоначальным весом образцов и после растворения.

Дальнейшее исследование полученного анодного осадка проводилось на рентгеновском дифрактометре «Дрон-3».

Кроме того, в стали К60 определялась температура начала выделения карбидов. Для этого проводили закалку с различных температур в интервале $1100 \dots 800^\circ\text{C}$, полученную структуру изучали на оптическом микроскопе Nikon Epihot и с применением растровой электронной микроскопии (рис. 2).

Результаты исследования



×1000

Рисунок 1. Микроструктура закаленной стали К60 (X70) с 1000°C

При микроскопическом исследовании структура закаленной стали К60 состоит из мартенсита, остаточного аустенита и карбидов (рис.1). При температуре закалки 1100...1050 °С карбидная фаза отсутствует. Начало выделения карбидов происходит в температурном интервале 1000...1050 °С преимущественно по границам зерен. Частицы (Nb, Ti) (C, N) при травлении окрашиваются в голубой цвет, что также подтверждается различными литературными данными.

Более детальное изучение карбидной фазы проводилось при использовании растровой электронной микроскопии. На рис. 2(а) представлен поэлементный анализ закаленных образцов. На рис. 2(б) видно, что частица (Nb, Ti) (C, N) расположены цепочками и размер их различен. Кроме того, часто карбиды располагаются на неметаллических включениях (различных сульфидах и окислах) и вдоль них.

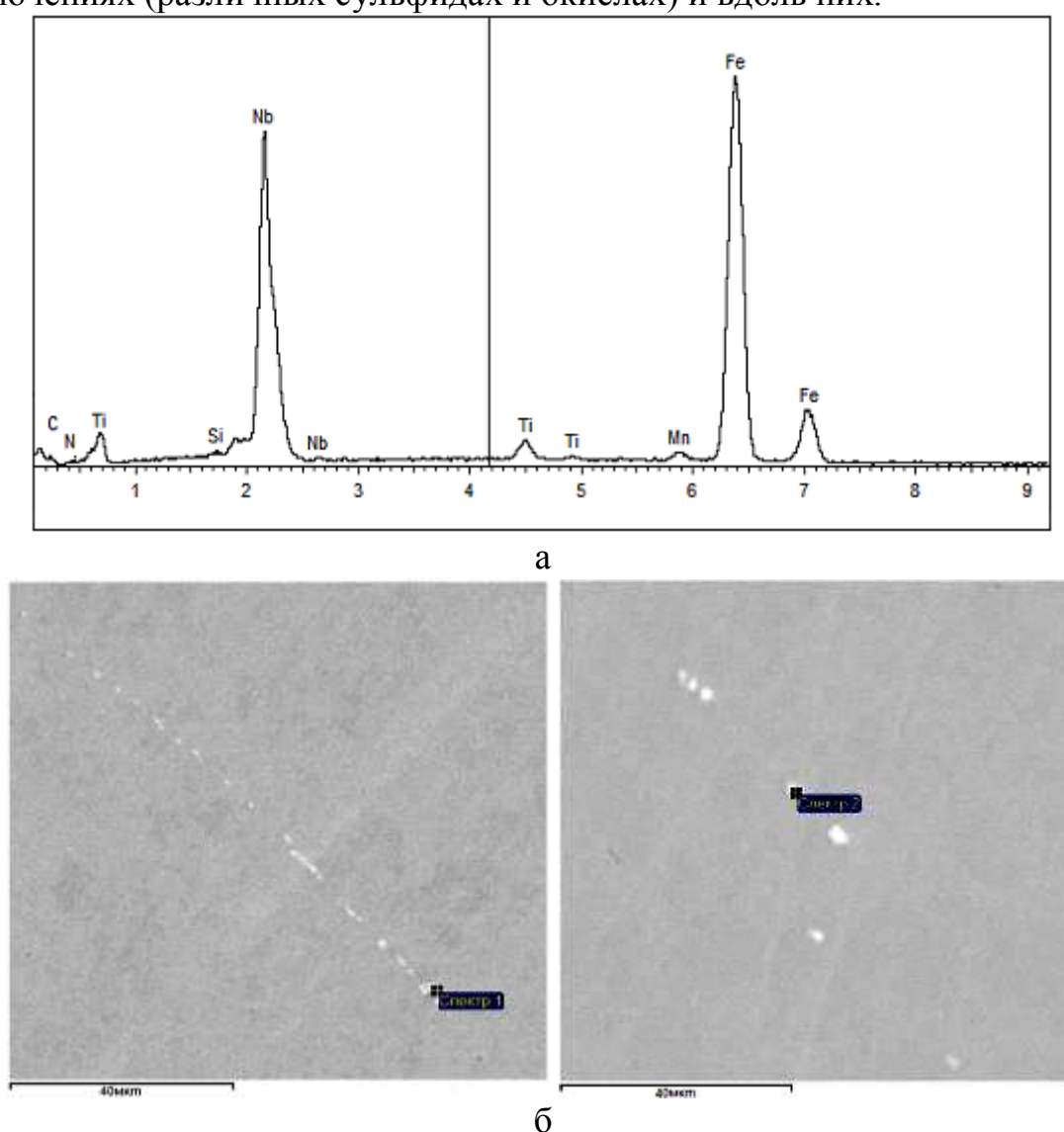


Рисунок 2. Мелкодисперсные выделения карбидов и нитридов (Nb, Ti) (C, N) в стали К60 (а) и рентгеновский спектр выделений на поверхности шлифа (б)

При исследовании полученного анодного осадка были выявлены следующие соединения: NbC, TiN, MoC, MoC_x, Cr_{21,34}Fe_{1,66}C₆. Карбиды ванадия не обнаружены при оптическом и электронном методах исследования, однако, наличие соединений V₂C, Ti₁₁V₈₉C₅₀ также подтверждается рентгеновской диаграммой (рис. 3). Это может объясняться тем, что карбиды ванадия слишком малы и не видны при данных методах исследования.



Рисунок 3. Рентгенограмма стали K60

Выводы

1. В трубной марке стали K60(X70) начало выделения частиц (Nb, Ti) (C,N) происходит в температурном интервале 1000÷1050°C. Выше 1050°C карбидная фаза отсутствует.
2. Частицы (Nb, Ti) (C,N) расположены цепочками, часто на неметаллических включениях (различных сульфидах и окислах) и вдоль них.
3. При исследовании анодного осадка стали K60(X70) на рентгеновском дифрактометре «Дрон-3» были определены формулы специальных карбидов и нитридов микролегирующих элементов ниобия, ванадия, титана, а также молибдена и хрома: NbC, TiN, V₂C, Ti₁₁V₈₉C₅₀, MoC, MoC_x, Cr_{21,34}Fe_{1,66}C₆.

Используемые литературные источники:

1. «Шлаковые включения в железе и стали» Ю.Т. Лукашевич-Дуванова; Металлургиздат. Москва 1952 г., 187 с.
2. «Неметаллические включения в легированных сталях» Н.Леве, И.Малашенко, М.Шапиро. Сталь № 10, 1937 г.